

BŪV INŽENIERIS



Pašpietiekamais Kosmosa izziņas centrs Cēsīs

Publisko iepirkumu līderi būvniecībā

Godavīrs ar kabinetu Rastrelli pilī. Juris Veiss

Betons kļūst zaļāks un videi draudzīgāks

Kā būvē *Rail Baltica* staciju lidostā Rīga

Pozitīvās enerģijas apkaime Amsterdamā

2023. gada aprīlis Nr. 91
Cena 6 eiro



Latvijas Būvzinieņu savienības
izdevums

Saturs

IEVADS	2
AKTUALITĀTES	4
LBS 100	18
PERSONĪBA	
Kā domā, tā dara	22
Skrienot līdz laikam, nepazaudēsim pamatvērtības	36
VIDE	
Katrai vietai jāizvēlas atbilstoša iekārta	48
BŪVE	
Sportisks vaibsts Alūksnes pilsētvidē	54
Enerģētiski pašpietiekamais Kosmosa izziņas centrs	62
KOKA BŪVE	
Daudzdzīvokļu koka ēkas Latvijā	70
INOVĀCIJAS	
Soli pa solim betons arī Latvijā kļūst zaļāks	76
PILSĒTVIDE	
Eiropas pilsētas testē energopozitīvus kvartālus un gandrīz nulles enerģijas ēkas	88
ENERGOEFEKTIVĪTĀTE	
Programmatūra attālinātai namu pārvaldīšanai	94
Tromba sienas tehnoloģijas iespējas Latvijas klimatiskajos apstākļos	100
Par termisko konvekciju un starojumu	106
ENERGOEFEKTĪVĀKĀS ĒKAS DIENASGRĀMATA	
Energoefektivitātes ceļvedis biznesam	110
TEHNOLOĢIJAS	118
INFRASTRUKTŪRA	
Rail Baltica stacijas lidostā Rīga būvlaukumā – smalks darbs kā juvelierim Vecrīgā	144
MANTOJUMS	
Rundāles pils jumtam saglabātas vēsturiskās koka konstrukcijas	152

LATVIJAS BŪVINŽENIERU SAVIENĪBA

K. Barona iela 99, 1A, Rīga, LV-1012, Latvija
 Tālruni: 67311030, 67311180
 Fakss: 67311050
 E-pasts: lbsk@inbox.lv

PAVEIKTIE DARBI

Latvijas Nacionālā mākslas muzeja izmaksu ekspertīze
 Rīgas Doma restaurācijas tehniskā projekta ekspertīze
 Latvijas Nacionālās bibliotēkas infrastruktūras objektu projekta ekspertīze
 Valsts ieņēmumu dienesta ēkas Tālejas ielā 1, Rīgā, tehniskā projekta ekspertīze
 Konsultēšana par būvniecības procesu Rīgas Doma restaurācijā
 Tehniskā projekta Multifunkcionālā kultūras centra Rīgā, Dubnas ielā 2, ekspertīze
 VEF Kultūras pils Ropažu ielā 2, Rīgā, rekonstrukcijas un restaurācijas tehniskā projekta ekspertīze
 Siguldas jaunās pils tornis, balkona, terases restaurācijas darbu būvuzraudzība
 Daugavpils tramvaja līniju rekonstrukcijas projekta ekspertīze
 Rīgas HES pārgāzņu remonta darbu ekspertīze

www.lbskonsultants.lv

Soli pa solim betons arī Latvijā kļūst zaļāks



Rolands Cepurītis, Dr. ing., asociētais profesors Norvēģijas Zinātnes un tehnoloģiju universitātē (NTNU), Latvijas Betona savienības valdes priekšsēdētājs un SIA *Primekss* tehnoloģiju direktors



Krišjānis Grinšpons, B. sc. ing., SIA *Primekss* vecākais betona tehnologs

Attēli no uzņēmuma arhīva

Kas ir betons? Daži teiks, ka betons ir mākslīgs akmens materiāls, kas pamatā sastāv no smiltīm, šķembām, ūdens un cementa, un, saprotams, no vēl kādām ķīmiskām piedevām. To pārvadā betonvedējos, ko tautas valodā sauc arī par mikseriem vai vienkārši bumbieriem, un viss ir kārtībā, kamēr betons nesāk pārāk ātri rauties.

Savukārt tie, kas nodarbojas ar betona ražošanu vai tā iestrādi, iespējams, betonu drīzāk sauks par dzīvesveidu, nevis būvniecības materiālu. Betons kļūdas nepiedod – ja diena ar to ir iesākta, tā ar to ir arī jāpabeidz. Kā saule aust un riet, tā arī betons agrāk vai vēlāk no šķidrās konsistences pārtop cietā materiālā. Tieši tik vienkārši un reizē arī tieši tik sarežģīti tas ir. Betons tik tiešām ir lielisks materiāls vai arī dzīvesveids, kāda nu katram definīcija sirdij tuvāka. Līdzīgi kā ūdens, betons būtībā spējīgs ieņemt jebkādu formu – griesti šajā ziņā meklējami cilvēku izdomā, nevis mate-

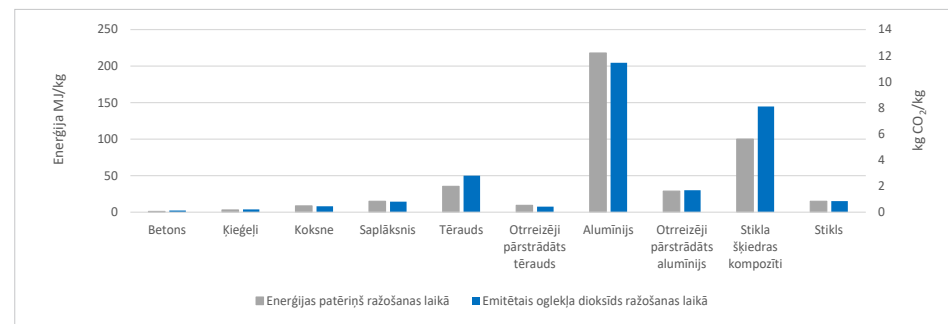
riāla spējā pielāgoties. Un cilvēkiem patīk betons, ļoti patīk. Tik ļoti, ka 2020. gadā visā pasaulē tika saražoti aptuveni 14 miljardi kubikmetru betona. Lai labāk spētu iztēloties šos milzīgos apjomus, iedomāsimies 22 centimetrus biezu betona plātņi, kas savos izmēros būtu identiska Latvijas teritorijai. Savukārt Latvijā tajā pašā 2020. gadā saražoti aptuveni 500–600 tūkstoši kubikmetru betona jeb aptuveni 0,3 kubikmetru uz katru Latvijas iedzīvotāju. Tas liek secināt, ka betons tik tiešām ir svarīga mūsu ikdienas sastāvdaļa.

Pat ekoloģiskāks par citiem materiāliem

Taču pēdējos gados arvien biežāk dzirdams arī par betona kā būvmateriāla negatīvo iespaidu uz apkārtni. Ir zināms, ka cementa – būtiskākās betona sastāvdaļas – ražošana ik gadu rada aptuveni 8% no kopējiem CO₂ izmešiem visā pasaulē. Ja cementa ražošanas industrija būtu atsevišķa valsts, izmešu emitēšanā to pārspētu vienīgi ASV un Ķīna.

No otras puses, ja mēs izvērtējam datus par to, cik CO₂ izmešu uz vienu kilogramu gala produkta *saražo* plašāk izmantotie būvniecī-

Materiāls	Enerģijas patēriņš ražošanas laikā, MJ/kg	Emitētais CO ₂ ražošanas laikā, kg CO ₂ /kg
Betons	0,95	0,13
Ķieģeļi	3	0,22
Koksne	8,5	0,46
Saplāksnis	15	0,81
Tērauds	35,3	2,8
Otrreizēji pārstrādāts tērauds	9,5	0,43
Alumīnijs	218	11,46
Otrreizēji pārstrādāts alumīnijs	28,8	1,69
Stikla šķiedras kompozīti	100	8,1
Stikls	15	0,85



1. attēls. Populārāko būvmateriālu ražošanas īpatnējais enerģijas patēriņš un īpatnējie CO₂ izmeši no to ražošanas procesa.

bas materiāli (skat. 1. attēlu), tad varam secināt, ka betons visai pārliecinoši ir ekoloģiskāks gan par koksnes un stikla, gan par tērauda un alumīnija produktiem. Tomēr, tā kā pasaulē betons ir tik iecienīts, tad problēma šajā gadījumā slēpjas grandiozajā mērogā, kādā betons tiek patērēts. Turklāt nekas neliecina par to, ka pieprasījums pēc betona tuvāko gadu vai desmitgažu laikā varētu samazināties – gluži pretēji. Visticamāk, pilsētvides un infrastruktūras (piemēram, *Rail Baltica*) atbilstības dēļ, kā arī cerībās uz augstāku dzīves kvalitāti pieprasījums tikai augs.

Lai šo izaicinājumu risinātu, tiek izmanto-

tas dažādas pieejas. Tirgū aizvien plašāk cementu, kura sastāvā ir augsts klinkera daudzums, aizstāj ar tādu, kura sastāvā klinkera daudzums ir samazināts. Šādā veidā cements tiek padarīts *zaļāks*, līdz ar to arī betons, kas ražots ar šādu cementu, samazina savu CO₂ nospiedumu. Tiek aktīvi strādāts arī pie dažādu inovatīvu betona kompozītmateriālu un tiem piemērotu aprēķinu metožu izstrādes, kas ļautu samazināt kopējo nepieciešamo betona apjomu konstrukcijās un tādējādi ievērojami pietuvināt pieņemamiem CO₂ izmešu apjomiem no dzelzsbetona konstrukcijām. Visas šīs pieejas sīkāk aplūkotas rakstā.

**CEMENTA RAŽOŠANA
PROCESA BŪTĪBA**



2. attēls. Cementa ražošana.

Attēls – Schwenk Latvija

Kā praktiski tiek samazināts izmešu daudzums?

Cements ir neorganiska hidrauliskā saistviela, kuras pirmsākumi tādā formā, kā mēs to pazīstam, visbiežāk datēti ar 19. gadsimtu. Sajaucot cementu ar ūdeni, veidojas pasta, kas cietējot ar laiku veido mākslīgā akmens materiālu. Cementa galvenā sastāvdaļa ir klinkers, kura ražošanā galvenokārt izmanto kaļķakmeni (>2/3 no visām izejvielām), mālu, smilti

un dzelzs piedevu (skat. 2. attēlu). Katra no šīm piedevām tiek precīzi dozēta noteiktās attiecībās, veidojot izejmateriālu maisījumu. Apdedzinot maisījumu rotācijas krāsnīs 1450–1500 °C, iegūst klinkeru, kas pēc izskata līdzinās tumši pelēkas krāsas lodītēm ar diametru no 3 līdz 25 mm (skat. 3. attēlu). Pēc apdedzināšanas klinkeru atdesē, smalki samal un, tam pievienojot ģipsi (aptuveni 3–5% no cementa kopējās masas), iegūst mūsdienās



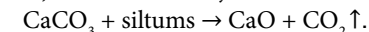
3. attēls. Klinkers tikko pēc transportēšanas no rotācijas krāsns.

Attēls – Schwenk Latvija

tik plaši lietoto cementu (ģipsis tiek pievienots, lai kontrolētu cementa hidratācijas reakcijas ātrumu). Kopā ar ģipsi aizvien vairāk tiek pievienotas arī citas papildu cementējošās vielas kopējai klinkera daudzuma samazināšanai cementā (skat. tālāk rakstā).

Mūsdienās no pieredzējušiem būvniekiem dzirdams, ka betons un arī cements vairs nav tāds kā agrāk. Iecienīts ir salīdzinājums starp Senās Romas konstrukcijām, kas, neraugoties uz ievērojamo mūžu, šķietami kalpo labāk par jaunāko laiku betona konstrukcijām, kam pēc nesalīdzināmi īsāka laika perioda nepieciešams kapitālais remonts vai pat pilnīga demontāža. Protams, iemeslu tam ir daudz un dažādu, taču nešaubīgi būtiska ietekme ir izmantotā cementa sastāvam un tā fizikāli ķīmiskajām īpašībām.

Kā iepriekš minēts, kaļķakmens ir viens no pamatelementiem cementa ražošanā. Kaļķakmeni karsējot rotācijas krāsnīs augstā temperatūrā, tiek sākts tā kalcinācijas process. Tas nepieciešams, lai ķīmiskās reakcijas ceļā iegūtu oksīdus, kas, izkūstot un savā starpā savienojoties ar citu izejvielu oksīdiem, krāsns galā veidotu klinkeru. Kaļķakmens apdedzināšanas ķīmiskais vienādojums ir



Būtisku sarežģījumu rada tas, ka aptuveni 40% no kaļķakmens vienības masas veido oglekļa dioksīds, kas tiek atbrīvots kalcinācijas procesā. Tādējādi aptuveni 60% no visiem CO₂ izmešiem, kas rodas klinkera ražošanas laikā, tiek radīti kaļķakmens kā izejmateriāla izmantošanas dēļ. No tā rodas secinājums, ka bez fundamentālām, globālām izmaiņām cementa uztveres un izmantošanas ziņā ir ļoti izaicinoši samazināt kopējos CO₂ izmešus industrijas līmenī.

Cementa ražošana ir ārkārtīgi energoietilpīga. Tās nodrošināšanai nepieciešami līdz 3,3 gigadžouli termālās enerģijas uz vienu tonnu klinkera, tādēļ neizbēgami arī ļoti būtisks aspekts kopējā CO₂ izmešu apjomā ir veidam, kādā cementa rūpnīca tiek darbināta, kā arī tam, kas tiek izmantots kā degviela ne-

pieciešamās temperatūras nodrošināšanai krāsnī. Vēsturiski cementa ražotņu darbināšanai izmantoti dažādi fosilo kurināmo veidi – tādi kā akmeņogles, dabasgāze vai nafta. Šo izejvielu izmantošanas veids pats par sevi ģenerē vēl vairāk kaitīgo izmešu papildu tā jau ļoti CO₂ netīram ražošanas procesam. Cementa ražošanas laikā uz katru tonnu klinkera tiek izdalīti aptuveni 600–1100 kilogramu CO₂. Iespaidīgā izkliede sasniedzamajos rezultātos skaidrojama ar dažādiem iespējamajiem cementa ražošanas veidiem, rūpnīcu atšķirīgu modernizāciju, pieejamajiem izejmateriāliem, citādiem kurināmā izmantošanas veidiem un citiem iemesliem. Paturot šo prātā, varam pieņemt, ka viens kubikmetrs regulāra pielietojuma betona (piemēram, daudzstāvu dzelzsbetona ēku karkasa konstrukcijās) ar samērīgu cementa daudzumu (~290 kg/m³) rada aptuveni 250 kg CO₂. Ja mēs šo grūti vizualizējamo skaitli izteiktu saprotamākā formā, tad izmešu ziņā tas būtu pielīdzināms vienai izbrauktai vidēja izmēra vieglās automašīnas degvielas bākai vai enerģijas patēriņam, kas nepieciešams viena mājas stacionārā datora izmantošanai gada garumā.

Gan attīstoties cementa ražošanas tehnoloģijām, gan aizstājot fosilos kurināmos ar dažādu veidu alternatīvajiem kurināmajiem, cementa ražošanas speciālistiem ir izdevies samazināt kopējo CO₂ izmešu apjomu, kas rodas kā blakusprodukts gatavajam cementa produktam. Mūsdienās tehnoloģiski attīstīta cementa rūpnīca, kas efektīvi risina izaicinājumus, kuri saistīti ar atbilstoša alternatīvā kurināma izvēli, kā arī investē citu tehnoloģisko procesu optimizēšanā, ir spējīga vienu tonnu klinkera saražot, radot aptuveni 700 kg kaitīgo izmešu. Piemēram, Schwenk Latvija Brocēnu cementa rūpnīca gada laikā saražo aptuveni 1,3 miljonus tonnu ar tik nepieciešamo hidraulisko saistvielu, turklāt aptuveni līdzīgās daļās daļāmi gan CEM I, gan CEM II tipa cementa saražotie apjomi. Šeit gan iezīmējas raksturīgas atšķirības starp tirgiem, kuros tiek pārdots Brocēnos ražotais cements –

Latvijā aptuveni 65% no pārdotā apjoma ir CEM II tipa cements, taču Zviedrijas tirgū CEM II apjomi sasniedz ap 85%, bet Igaunijā un Somijā joprojām ir būtisks CEM I tipa cementa pārsvars. *Schwenk Latvija* pakāpeniski veikusi būtiskas investīcijas, lai optimizētu cementa ražošanu un samazinātu izmešu daudzumu. Brocēnu cementa rūpnīca ir viena no modernākajām Eiropā un līdz ar vienu tonnu klinkera emitē nedaudz zem 700 kilogramiem ar CO₂, kas ierindo to arī starp Eiropas *zaļākajām* cementa rūpnīcām.

Vēl viens virziens, kādā attīstās cementa ražošanas process un kas neizbēgami ietekmē betonu kā materiālu, ir klinkera daudzums cementā. Ja kādreiz būvnieki strādāja ar betonu, kura sastāvā ir ļoti *tīrs* cements (tāds, kurā klinkera sastāvs ir 95% un vairāk), tagad situācija jau ir pavisam citāda. Tiek lēsts, ka mūsdienu cementa sastāvā ir aptuveni 70% klinkera, atlikušo apjomu aizpilda citas hidrauliskās saistvielas (tādas kā pelnu putekļi, granulētie domnu sārņi jeb *šlaga*, degakmens pelni, dabiskais pucolāns un citi), kas, protams, ietekmē arī no šāda cementa izgatavotā betona īpašības. Arī Brocēnos ražotajā cementā klinkera faktors ir pakāpeniski samazināts – no 0,92 (vidēji 92% klinkera) 2009. gadā līdz aptuveni 0,79 pašlaik. Tiek plānots, ka līdz 2025. gadam klinkera faktors tiks samazināts līdz 0,69. Tas novedis pie situācijas, ka Latvijas un pasaules tirgū par senatnes relikviju pamazām kļūst CEM I tipa cements. To pakāpeniski aizstāj dažādu veidu CEM II tipa kompozītcements, kura sastāvā klinkera aizvietoējums sasniedz līdz pat 35%.

Kas ir *zaļais* betons, kā to klasificēt un kā tas iestrādē atšķiras no parasta betona

Pēdējā laikā aizvien vairāk tiek runāts par t. s. *zaļo* betonu un nepieciešamību palielināt tā lietošanu dzelzsbetona konstrukcijās. Ar *zaļo* betonu šajā gadījumā domāts betons, kas ir videi draudzīgāks. Veids, kā klasificēt, cik draudzīgs betons ir dabai, ir apsvērt to, cik kilogramu CO₂ tiek emitēts, lai saražotu vienu

kubikmetru attiecīgās stiprības klases betona. Šie lielumi, protams, pasaules mērogā var ļoti būtiski atšķirties. Mainoties pieejamajiem izejmateriāliem, vietējiem regulējumiem, kas attiecas uz ražošanas kontroli, ražotņu modernizācijas pakāpei un citiem faktoriem, arī CO₂ emitēšanas rādītāji mainīsies.

Tāpēc, lai kvantificētu betona vides draudzīgumu, CO₂ izmeši, kas rodas konkrētās betona stiprības klases saražošanai, tiek salīdzināti ar industrijas referenes betona radītajiem CO₂ izmešiem. Ar industrijas referenci šajā gadījumā saprot betona sastāvu, ko pēc tirgus analīzes veikšanas un datu apkopošanas atzinuši vietējo institūciju pārstāvji. Jo lielāks ietaupījums pret referenes nostādņēm, jo *zaļāks* betons un augstāka CO₂ samazinājuma pakāpe. Tā, piemēram, sekojot Norvēģijas Betona savienības izdotajām vadlīnijām NB37, paredzēts – lai sasniegtu pirmā līmeņa CO₂ samazinājuma klasi B, betona sastāvam nepieciešams samazināt emisijas par aptuveni 20%. Vadoties pēc šiem nosacījumiem, C30/37 stiprības klases betonam CO₂ būtu jāsamazina no Norvēģijas betona industrijas referenes 280 kg/m³ līdz 230 kg/m³ (skat. 1. tabulu). Eksperti ir vienprātīgi, ka šādu CO₂ samazinājuma klašu reālai sasniegšanai būtu nepieciešama visu projektā iesaistīto pušu – klientu, konstrukciju inženieru, būvdarbu veicēju un betona ražotāju – kvalitatīva sadarbība.

Latvijā vēl nav apkopota informācija un izstrādātas nostādnes gan referenes vērtību, gan samazinājuma klašu vērtību raksturošanai. Taču šī raksta tapšanas laikā ar mērķi ieskicēt, kur atrodamiem salīdzinājumā ar jau pasaules praksē pieņemtām vērtībām, tika apjautāti Latvijas lielākie betona ražotāji, un, balstoties uz viņu sniegto informāciju, kļūst saprotami vidējie aprēķinātie izmešu daudzumi populārākajām betona stiprības klasēm (skatīt 2. tabulu). Apskatīti betona veidi gan ar 100% cementa saturu, gan tādi, kuros daļa cementa aizstāta ar citām hidrauliskām saistvielām. Varam secināt, ka, pateicoties Latvijā

CO ₂ /spiedes stiprības klase	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/55
Maksimālās siltumnīcas efektu radošo gāzu emisijas attiecīgām samazinājuma pakāpēm (kg CO ₂ /m ³)					
References vērtības	240	260	280	330	360
CO ₂ samazinājuma klase B	190	210	230	280	290
CO ₂ samazinājuma klase A	170	180	200	210	220
CO ₂ samazinājuma klase <i>Plus</i>	–	–	150	160	170
CO ₂ samazinājuma klase <i>Ekstrēms</i>	–	–	110	120	130

1. tabula. Norvēģijas Betona savienības izdotās vadlīnijas CO₂ samazinājuma klašu raksturošanai publikācijā NB37.

CO ₂ /spiedes stiprības klase	C25/30	C30/37	C40/50
Maksimālās siltumnīcas efektu radošo gāzu emisijas (kg CO ₂ /m ³)			
References vērtības	~200–220	~230–270	~280–350

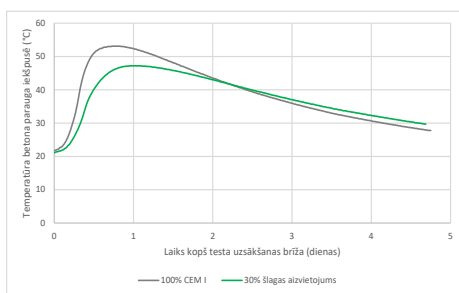
2. tabula. Vidējie Latvijas betona industrijas CO₂ izmešu apjomi dažādām betona stiprības klasēm.

pieejamo izejmateriālu kvalitātei, tehnoloģiski spēcīgi attīstītai cementa ražošanai un industrijas pārstāvju profesionalitātei, Latvijā ražotais betons CO₂ izmešu ziņā pielīdzināms tādiem tirgiem, kuros jautājumi saistībā ar CO₂ izmešiem savu aktualitāti pieteikuši jau ievērojami agrāk.

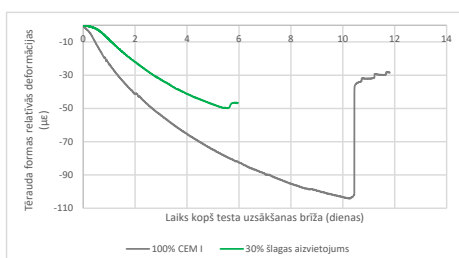
Ar vārdu salikumu *zaļais betons* ražošanas praksē visbiežāk saprot tādu betonu, kura sastāvā izmantotais cements ir daļēji aizstāts ar kādu citu hidraulisku saistvielu. Kopējais apjoms, kādā cements var tikt aizstāts ar kādu no citām piedevām, ir mainīgs lielums, kas atkarīgs no dažādām praktiskām niansēm. Taču tas nav vienīgais, ar ko *zaļā* betona sastāvs var atšķirties no parasta betona sastāva. *Zaļais* betons var būt tāds betons, kura sastāvā izmantots CO₂ neitrāls cements vai, piemēram, tāds betons, kura sastāvā izmantotas

reciklētas pildvielas vai reciklēts ūdens palielinātā daudzumā. Betons nešaubīgi kļūst *zaļāks* arī tad, ja tā sastāvs tiek optimizēts tādā veidā, kas ļauj samazināt nepieciešamo cementa daudzumu, nepazeminoties betona spiedes stiprībai vai citām ilgmūžības īpašībām. Bieži vien sastāva optimizācija saistās ar pārdomātu betona pildvielu izvēli, kā arī ar atbilstošu pildvielu proporciju izvēli, kas ļautu samazināt nepieciešamo ūdens daudzumu, saglabājot apmierinošu betona iestrādājāmību.

Sastāva optimizācijas ziņā bieži vien, iespējams, pietiekami nenovērtēts aspekts ir smalkās pildvielas izmantošana betona sastāvā un tās izcelsmes vieta. Bieži šķendējamies par to, ka Latvijā nav derīgo izrakteņu vai citu dabas bagātību, bet, patiesību sakot, betona izejmateriālu ziņā mēs esam ļoti bagāta un spēcīga valsts. Dabiskās smilts pieejamība un kvalitāte



4., 5., 6. attēls. Temperatūras likņu salīdzinājums starp betona maisījumu ar 100% cementa saturu un betona maisījumu, kur 30% cementa aizvietoti ar šļagu.



7. un 8. attēls. Tērauda formas relatīvās deformācijas kopš laika, kad reģistrēts žūšanas rukuma sākums. Deformāciju līknes pārtraukums reģistrē betona saplaisāšanas brīdi.

ir tā vērtība, kas mūs būtiski atšķir no citiem pasaules reģioniem, kur būvniecības kopējais apjoms un temps ir ievērojami augstāks. Lai arī betons ir lielisks būvniecības materiāls, tam ir arī trūkumi, un papildu radītais CO₂ piesārņojums tomēr, iespējams, nav ar vislielāko globālo ietekmi. Lai apmierinātu augošo pieprasījumu pēc betona, pasaulē ir salas, piekrastes un pludmales, kuras pilnībā pazudušas no kartes. Iemesls tam ir nepieciešamība pēc atbilstoša smilts materiāla. Pastāv pat tā saucamās *smilts mafijas*, kas, šos izrakteņus iegūstot un pārdodot nelegāli, strādā ar milzīgu peļņu. Latvijā ar šādu problēmu mēs pārskatāmā nākotnē nesaskarsimies, drīzāk pat iesim soli tālāk – apsveram idejas mūsu dabisko smilti eksportēt. Šajā ziņā ļoti interesants darbs tiek veikts Skandināvijas valstīs (un citviet), kur ar dažādu tehnoloģisku procesu palīdzību tiek ražotas un apstrādātas drupinātās smiltis betona ražošanai. Ar drupinātajām smiltīm šeit būtībā tiek saprasts

materiāls, kas pildvielu karjeros tiek uzverts kā blakusprodukts lielāku frakciju ražoju-
miem. Izmantojot šādu materiālu betonā, arī būtiski tiek samazināta tā ietekme uz apkārtējo vidi, un betons acīmredzami tiek padarīts *zaļāks*.

Visām projektā iesaistītajām pusēm tomēr jāapzinās, ka praktiski darbs ar *zaļo* betonu ir citādāks nekā ar parasto betonu. Jāveic attiecīgi plānošanas un sagatavošanās pasākumi, lai darbi ritētu pēc iespējas gludi. Ir nepieciešama pielāgošanās. Piemēram, apsverot iespējamās cementa aizvietojuma apmērus, jāņem vērā gaisa temperatūra un laikapstākļi betonēšanas laikā, *laika logs*, kas nepieciešams konstrukcijas slīpēšanai vai citai pēcapstrādei, konstrukciju atveidnošanas un vēlamo slogošanas laiku, kā arī citi apsvērumi. Tas nepieciešams, jo, strādājot ar kompozītcementiem vai samazinot cementa daudzumu sastāvā un aizstājot to ar citām piedevām, var tikt ietekmēta betona agrīnā stiprība, saistīšanās

	100% CEM I sastāvs betonā	CEM I aizvietojums ar šļagu 30% apmērā
Svaiga betona testēšana atbilstoši standartu kopai EN 12350		
Konsistence (mm)	210	225
Izplūdums (mm)	360	420
Blīvums (kg/m ³)	2388	2367
Gaisa saturs (%)	2,2	2,5
Betona agrās spiedes stiprības pārbaude atbilstoši EN 12390-3		
Vienas dienas stiprība (MPa)	10,7	4,9
Divu dienu stiprība (MPa)	14,8	8,6
Četru dienu stiprība (MPa)	25,3	15,1
Septiņu dienu stiprība (MPa)	30,8	20,2
Betona saistīšanās laika noteikšana atbilstoši testēšanas standartam NT Build 476		
Maksimālā temperatūra betona cietēšanas laikā (°C)	53,1	47,2
Betona saistīšanās laiks (stundas)	4	6
Betona plaisāšanas laika un radīto iekšējo spriegumu noteikšana atbilstoši testēšanas standartam ASTM C1581		
Laiks līdz parauga saplaisāšanai (dienas)	10,4	5,6
Maksimālais stiepes spriegums betona paraugā pirms tā sabrukšanas (MPa)	2,03	0,97
Betona spiedes stiprība parauga atveidnošanas brīdī (MPa)	14,1	8,7
Betona spiedes stiprība pēc sabrukuma konstatēšanas (MPa)	33,7	26,1

3. tabula. SIA *Primekss* betona izpētes centrā veikto testu rezultātu apkopojums.

laiks, kā arī laiks, kurā ar betonu var strādāt un kurā tas ir *kustināms*. Jāņem arī vērā, ka papildu cementējošu piedevu izmantošana betona sastāvā apgrūtina arī betona rūpnīcu darbību, jo jādoma par papildu materiālu silosu nodrošināšanu un visām ar to saistītajām tehniskajām niansēm.

Sakarā ar to SIA *Primekss* savā betona izpētes centrā Rīgā veicis izpēti (skat. 4.–8. attēlu), lai izzinātu praktiskās atšķirības darbam ar

parasto un *zaļo* betonu. Tā kā *Primekss* strādā arī tirgos, kur *zaļais* betons sevi pārliecinoši piesaka jau tagad, tiek veikts ļoti daudz testu, lai noteiktu tādus svarīgus betona parametrus kā saistīšanās laiku, agrīnās stiprības pieaugumu, aizkavētā rukuma un plaisāšanas īpašības, žūšanas rukumu un citus. Aktīvs darbs turpinās aizvien, un pievienotajās ilustrācijās un 3. tabulā apkopoti daži raksturīgākie līdz šim iegūtie rezultāti. Tie liek secināt – lai gan,

aizstājot cementu ar citām hidrauliskām saistvielām (šajā gadījumā šlagu), iespējams sasniegt projektētās betona spiedes stiprības vērtības, tomēr jāņem vērā, ka *pa ceļam* tiek mainītas daudzas citas betona īpašības – sevišķi agrīnā betona vecumā. Tāpēc šāda betona lietošana būvkonstrukcijās bez īpašām zināšanām var radīt daudz problēmu, kas ietekmēs konstrukciju izgatavošanas kvalitāti un ilgmūžību.

Pasaules pieredze papildu CO₂ izmešu samazināšanas vai integrēšanas risinājumos dzelzsbetona konstrukciju būvniecībā

Pavisam nesen – 2020. gadā – Globālā cementa un betona asociācija (GCCA jeb *Global Cement and Concrete Association* – angļu val.) publicēja betona un cementa industrijas ceļvedi līdz 2050. gadam, kas, pēc autoru domām, ja vien izdotos rast iespēju šo ceļvedi ievērot, nodrošinātu, ka betons kļūst par CO₂ neitrālu materiālu. Šai asociācijā ietilpst vadošie betona un cementa ražošanas uzņēmumi no visas pasaules. Cementa ražotāju pārstāvniecības ziņā asociācija aptver 80% no pasaules cementa ražošanas apjomiem ārpus Ķīnas, taču GCCA ir arī daži no lielākajiem Ķīnas cementa ražotājiem.

Ekspertu piedāvātajā scenārijā aptuveni 42% no CO₂ ietaupījuma rastos, modernizējot un optimizējot jau esošos cementa un betona ražošanas procesus. Plānots ietaupījums no efektīvākas klinkera ražošanas, no pārdomātākas betona ražošanas, no klinkera ietaupījuma kā tāda, samazinot tā faktoru cementa sastāvā, kā arī padarot CO₂ neitrālu elektrības ražošanu, kas nepieciešama cementa un betona rūpnīcu darbības nodrošināšanai. Bez ievēribas nav atstāts arī fakts, ka betons savā kalpošanas mūžā no apkārtējās vides piesaista un ieslēdz konstrukcijā CO₂ (betona karbonizācija) – aplēsts, ka no šī procesa vien līdz 2050. gadam tiks samazināts ap 240 Mt CO₂. Taču, iespējams, pats interesantākais pieminētajā ceļvedi ir tas, ka pārliecinoši lielāko ietaupījumu betona un cementa nozares līderi saskata

alternatīvajās un praksē vēl maz izplatītajās CO₂ samazināšanas stratēģijās. Šajā sakarā tiek runāts par diviem galvenajiem attīstības virzieniem. Pirmais no piedāvātajiem virzieniem ir CO₂ uztveršana (jeb *carbon capture* – angļu val.) cementa rūpnīcās cementa ražošanas laikā un pēc tam tā ilgtermiņa glabāšana vai atkārtota izmantošana citviet. Otrais ļoti svarīgais virziens ir efektīvāka betona konstrukciju projektēšana un būvniecība, piemēram, projekta specifikācijās jau sākotnēji konkrēti minot CO₂ samazināšanas prasības izmantojamajiem būvniecības materiāliem vai izmantojot tādas betona kompozītmateriālus un aprēķinu metodikas, kas ļautu būtiski samazināt dzelzsbetona konstrukciju dimensijas, līdz ar to arī kopējo nepieciešamo betona apjomu.

CO₂ uztveršana un uzglabāšana – CCS (*carbon capture and storage* – angļu val.) – ir diezgan jauna un lielizmēra cementa ražošanas apjomos vēl maz pārbaudīta metode, taču visai daudzsolīga. Šīs metodes pamatā ir ideja, ka CO₂ tiek *uzverts* tā emitēšanas brīdī, pēc tam, iekļaujot dažādas ķīmiskās reakcijas soļus, saspīests līdz šķidram stāvoklim, un tālāk pa cauruļvadu sistēmām tas tiek transportēts uz vietām, kur tiek nodrošināta CO₂ ilgtermiņa uzglabāšana. Visbiežāk par CO₂ ilgtermiņa glabāšanas vietām tiek izvēlētas piemērotas ģeoloģijas zemes dzīles vai ūdenstilpņu pamatnes. Speciālisti secinājuši, ka, piemēram, Ziemeļamerikas kontinenta dzīlēs iespējams ieslēgt CO₂ apjomu, kas atbilstu 900 gadu ilgam ražošanas periodam, pieņemot pašreizējās ražošanas tendences. Pastāv bažas, ka ilgākā laika posmā varētu rasties CO₂ noplūdes no zemes garozas, taču ievērojamo noplūžu risks vērtēts kā neliels. Tiek lēsts, ka 2022. gadā, aptverot visas piesārņojošās ražošanas industrijas, izmantojot CCS tehnoloģiju, tiktu *noķerta* aptuveni viena tūkstošā daļa no globālajām CO₂ emisijām. Plānots, ka pirmais pilnizmēra CCS projekts cementa ražošanas industrijā tiks realizēts 2024. gadā Breivikas rūpnīcā Norvēģijā. Plāni ieviest līdzīgu sistēmu ir arī Brocēnu cementa

rūpnīcā. Pašlaik uzņēmums *Schwenk* strādā pie CCS sistēmas pilnizmēra testa uzstādīšanas vienā no Vācijas rūpnīcām ar cerību, ka iegūtās zināšanas un labvēlīgi testa rezultāti sekmēs sistēmas izbūvi arī Brocēnos ap 2030. gadu. Prakse rāda, ka šādas pieejas efektivitāte CO₂ uztveršanā ir 50–70%, kas atšķiras no sākotnēji cerētajiem 90–100%. Šīs pieejas kritiķi neslēpj, ka reālie samazinājuma dati atšķiras no iepriekš prognozētajiem un CCS kā tehnoloģija globāli kalpo kā iegansts, lai turpinātu izmantot fosilos kurināmos un kavētu pāreju uz alternatīvās enerģijas avotiem. Šādas sistēmas ieviešana saistās ar ļoti augstām izmaksām, turklāt galaprodukts – šajā gadījumā tīrs CO₂ – daudzviet pasaulē joprojām ir ļoti lēts. Procesa rentabilitāte ievērojami augtu, ja iegūto blakusproduktu būtu iespējams nevis vienkārši iekonservēt ilgtermiņa glabāšanai, bet gan izmantot citās rūpniecības nozarēs, ražojot augstas vērtības ķīmikālijas vai produktus.

Vēl kāda metode, kas pasaulē pamazām kļūst aizvien populārāka un nu jau tieši risina portlandcimenta kā izejvielas ražošanas problēmu, ir pavisam jaunu veidu cementa ražošana. Tiek pētīta cementa ražošana no citiem izejmateriāliem, kuru CO₂ nospiedums ne tuvu nav tik liels kā uz kaļķakmeni balstītajam portlandcementam. Piemēram, pētnieki no Vācijas un Brazīlijas ir izstrādājuši cementa sastāvu, kas ļauj pat līdz divām trešdaļām samazināt CO₂ emisijas ražošanas laikā. Šā cementa sastāvā kā viens no galvenajiem izejmateriāliem tiek izmantots boksīts (alumīnija rūdas). Ar boksītu iespējams aizstāt 50–60% nepieciešamā kaļķakmens, un arī temperatūra, kādā izejmateriālu maisījums būtu jāapdedzina, lai iegūtu klinkeru, ir par aptuveni 200 °C mazāka. Pētnieki secinājuši, ka jauniegūtais cements savā stabilitātē ir pielīdzināms tradicionālajam portlandcementam. Šeit gan jāpiemin, ka liels šķērslis konkrētā tipa cementa ražošanai būtu ierobežotā alumīnija rūdas pieejamība, kā arī fakts, ka šī rūda ir ļoti vērtīga arī citās ražošanas nozarēs. Turklāt, ja viss pieejamais alumīnija rūdas ap-

joms tiktu novirzīts tikai cementa ražošanai, tad pieprasījums pēc cementa tiktu apmierināts tikai par 10–15% no pašreizējiem apjomiem. Ir arī citi vērā ņemami tehnoloģiski panākumi pilnīgi jaunu veidu cementa ražošanā, tomēr tie visi saskaras ar vienu un to pašu grūti risināmu problēmu – neviena no izmantotajām izejvielām nav pieejama pietiekami lielā daudzumā, lai reāli aizstātu kaļķakmens sastāvā esošo kalciju (Ca), kas ir galvenais portlandcimenta veidojošais elements.

Vēl viena interesanta metode ir CO₂ pievienošana svaigam betonam tā ražošanas laikā. Teorētiski pievienotais CO₂ momentāni reaģētu ar kalcija hidroksīdu (Ca(OH)₂) betonā, veidojot grūti šķīstošu karbonātu – CaCO₃. Jāatzīst gan, ka pēc šīs metodes izstrādātāju datiem šādi iespējams iesaistīt vien aptuveni 15 kg CO₂/m³ betona, turklāt šīs metodes reālo efektivitāti praktiski nav iespējams eksperimentāli pārbaudīt.

Visas pieminētās metodes, kas saistās ar jaunu kompozītcimenta veidu izmantošanu vai pavisam jaunu cementa veidu ieviešanu tirgū, vai plašākas oglekļa dioksīda uztveršanas un glabāšanas sistēmas ieviešanu cementa ražošanas procesā, noteikti nebūs acumirklīgas. Būs vajadzīgs laiks, lai tās integrētu gan esošajos ražošanas procesos, gan esošajos būvniecības standartos. Un, kā zināms, inovācijas mūsu nozarē tiek pieņemtas lēni. Tas ir saprotams, jo mēs esam atbildīgi par ekspluatācijā drošu un ilgtspējīgu konstrukciju būvēšanu sabiedrībai. Bet pastāv arī risinājumi, kurus daudz biežāk varam izvēlēties jau tagad, neizmantojot būvniecības materiālus, kas savu sniegumu ilgtermiņā vēl nav pierādījuši. Ja iepriekš runājām par procesiem, kas principā skar tikai paša betona vai cementa ražošanu, tad šeit ir vietā runāt par konstrukciju projektēšanas stadiju.

Kā viena no pašsaprotamām izmaiņām līdzšinējā dzelzsbetona konstrukciju projektēšanas kultūrā tiek minēta CO₂ ietaupījuma specifificēšana projektos. Līdzīgi kā tiek definētas betona ārējās vides iedarbes klases, spiedes stiprība, maksimālā pieļaujamā

Inovācijas



9., 10. attēls. Tērauda šķiedru pievienošana īsi pirms betona iestrādes un jauna *PrimX* betona kompozitmateriāla iekļāšana objektā.

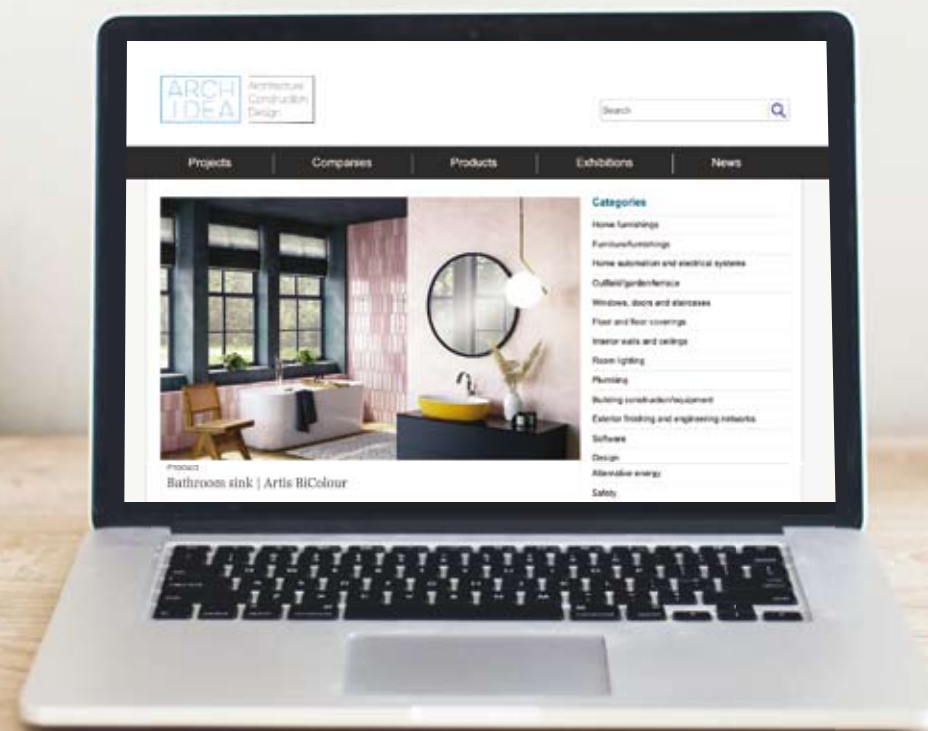
ūdens/cementa attiecība u. c., līdztekus projektā būtu definējams CO₂ ietaupījums, salīdzinot ar references betona sastāvu. Protams, atklāts ir jautājums, kādam šim ietaupījumam vajadzētu būt un kā to praktiski būvlaukumā sasniegt, taču nešaubīgi tas būtu spēcīgs instruments, kas jau pašā projekta sākumā liktu būvniekiem un ražotājiem domāt attiecīgajā virzienā. Šāda prakse jau pastāv vairākās Skandināvijas valstīs, kur CO₂ samazinājuma klase tiek pieminēta jau projekta specifikācijā. Būves pasūtītājam, strādājot kopā ar projektētājiem, iespējams arī piemeklēt tādas būves risinājumus, kas samazina kopējo CO₂ izmešu daudzumu. Optimizējot betona plātņu, pamatu, kolonnu u. c. elementu ģeometriskās dimensijas, biezumu, stieģrojuma daudzumu, nepieciešamo betona stiprības klasi, iespējams samazināt kopējo nepieciešamo betona daudzumu projektā, tajā pašā laikā nepasliktinot konstrukciju nestspēju vai izturību. Dzelzsbetona konstrukciju (īpaši dažādu plātņu konstrukciju) šķērsriezuma izmērus un CO₂ nospiedumu ir iespējams būtiski optimizēt, arī lietojot modernus kompozitmateriālus.

Viena no redzamākajām Latvijas inovāci-

jām šajā jomā ir *PrimX* ķīmiski pašuzspriedzošais šķiedrbetons, ko izstrādājuši kompānijas *Primekss* pētnieki un inženieri. Šis materiāls atkarībā no lietošanas mērķa sastāv no liela daudzuma augstas stiprības tērauda un/vai polimēru šķiedrām, kas iemaisītas betona matricā ar ķīmiskās uzspriegšanas piedevām (skat. 9., 10. attēlu). Piedevu hidratācijas un fizikāli-ķīmiskās mijiedarbības laikā ar betona matricu tā tiecas palielināties tilpumā, ko aizkavē šķiedru stieģrojums, attiecīgi radot betonā spiedes spriegumus. Šāda moderna kompozitmateriāla lietošana ļauj būtiski optimizēt betona plātņu konstrukciju šķērsriezumu, īpaši betona grīdu uz grunts un pāļiem un pamatu plātņu izbūves gadījumā, ļaujot sasniegt līdz pat 70% CO₂ izmešu ietaupījumu, salīdzinot ar tradicionālo – ar stieģrojuma stieģroto – dzelzsbetonu. Izaicinājums jauno kompozitmateriālu lietojumā ir to atbilstība standartiem un būvnormatīviem, kas būtiski atpaliek no jauno materiālu izstrādes un ieviešanas tempiem, tādējādi kļūstot par bistamiem *pudeles kakliem* dzelzsbetona konstrukciju CO₂ nospieduma mazināšanai. BI

www.archidea.lv

Tiešsaistes žurnāls arhitektūras, būvniecības un dizaina nozaru profesionāļiem



Dēļu iela 4c, Rīga, LV-1004

T. +371 277 48 088
E. info@archidea.lv